

## **La red sismográfica del OVSICORI-UNA y la implementación de nueva tecnología**

Juan Segura<sup>1</sup>, Ronnie Quintero<sup>1</sup>, Javier Pacheco<sup>1</sup> y Hairo Villalobos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica

Universidad Nacional

### **Introducción**

El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional (OVSICORI-UNA), es un Instituto de Investigación Universitaria dedicado a la investigación de los volcanes, los sismos y otros procesos tectónicos, con el propósito de encontrar aplicaciones útiles a la sociedad que ayuden a mitigar los efectos adversos de esos eventos al desarrollo económico y social. Una parte importante de su esfuerzo está orientada a observar y documentar la actividad sísmica, volcánica y la deformación cortical que, a su vez, retroalimenta a las actividades investigativas del instituto.

En 1984, el OVSICORI-UNA inicia la operación de una red sismográfica, diseñada para dar seguimiento a la actividad sísmica y volcánica en todo el territorio nacional. Actualmente la red sismográfica cuenta con un sistema de registro analógico y otro digital. Este último permite el análisis en línea de las señales sísmicas por medios digitales, lo que permite hacer más expedito el análisis de las señales y su interpretación, utilizando modernos métodos computarizados; los cuales nos conducen a obtener un mayor conocimiento de la temática que nos ocupa.

El OVSICORI-UNA también realiza investigación sobre la deformación tectónica de la corteza terrestre, asociada a la ocurrencia de grandes sismos en Costa Rica. Por ejemplo, después del terremoto del Valle de la Estrella con magnitud 7.7 se documentaron levantamientos cercanos a 1.5 metros en el Puerto de Limón. Los estudios de deformación son conducidos por geodestas y sismólogos, utilizando instrumental geodésico convencional como distanciómetros o teodolitos de precisión, o de alta tecnología como es el caso de los sistemas de posicionamiento global con satélite (GPS).

Tras 26 años de trabajo de la red sismográfica, las bases de datos del OVSICORI-UNA, se han constituido en un recurso de mucha utilidad, para realizar estudios de zonificación de la amenaza sísmica, vigilancia volcánica y en trabajos sobre el ordenamiento del territorio nacional. En la actualidad, novedosas investigaciones de impacto social se están ejecutando, con el fin de mitigar los daños que en el futuro puedan producir los sismos y los volcanes en Costa Rica.

El OVSICORI-UNA desarrolla un programa permanente de observación, seguimiento y análisis de la actividad volcánica, con miras al reconocimiento oportuno de peligros potenciales de origen volcánico que puedan impactar al territorio nacional, los resultados de su investigación están aportando conocimientos relevantes de los posibles impactos generados por el vulcanismo a la población.

En la actualidad existen muchas metodologías para monitorear los volcanes y hacer más efectiva la vigilancia volcánica; dentro de las más utilizadas a nivel mundial, están: el monitoreo de señales sísmicas, las deformaciones geodésicas asociadas al movimiento de magma bajo la superficie y la

composición química de los gases volcánicos. En paralelo, el OVSICORI-UNA realiza estudios de peligros volcánicos para reconocer tendencias de mediano a largo plazo en los patrones eruptivos de los volcanes de Costa Rica y esto deberá en el corto plazo ser incorporado en los planes reguladores que impulsan los gobiernos locales y en el ordenamiento territorial del gobierno central.

El OVSICORI-UNA cuenta en la actualidad con un personal permanente de 26 funcionarios, que incluye 12 académicos, 7 paraacadémicos y 7 administrativos y mantiene en operación y en tiempo real una red sísmica nacional. La red sísmica está compuesta de instrumentos de período corto Ranger (SS-1), de banda ancha (BA) del tipo: Guralp (CMG-6TD), Streckeisen (STS2), Nanometrics (Trillum 240 y Trillum compactos), acelerómetros SMA y FBA. Los datos son transmitidos en tiempo real, desde diferentes sitios ubicados en todo el país al Instituto, localizado en la Universidad Nacional de Heredia. En estos momentos, se está en una renovación de la red analógica por una de banda ancha digital, la cual consistirá alrededor de 34 estaciones, que tendrá cobertura nacional. Esta red de banda ancha, consistirá de instrumentos de movimiento fuerte (acelerómetros), débiles (sismómetros) y de desplazamiento en frecuencias bajas por medio de GPS.

El OVSICORI-UNA, publicó catálogos sísmicos desde 1984 hasta 1991, que describen la actividad sísmica durante todo el año. En los últimos tiempos se realizan publicaciones de las localizaciones sísmicas en la página web del Instituto ([www.ovsicori.una.ac.cr](http://www.ovsicori.una.ac.cr)). Se reportan los sismos sentidos por la población y que son reportados al personal del Observatorio; esta información es enviada a las autoridades gubernamentales naciones y en especial a la Comisión Nacional de Emergencias (CNE). La información es también enviada a todo el personal del OVSICORI a través de sus teléfonos celulares. El personal del OVSICORI se divide en grupos de tres o cuatro personas, hasta completar un total de 8 grupos. Estos grupos cuentan con un rol de disponibilidad permitiendo ser contactados por la CNE durante todos los días del año, los miembros del grupo en disponibilidad cuentan con un beeper, que es proporcionado por la CNE, con el fin de ser ubicados en cualquier momento.

Los datos de localización sísmica proveen la información inicial, que es incorporada y ordenada en bases de datos que luego de ser interpretadas por los profesionales del Instituto, permiten definir las zonas sísmicas del país y las características de las fuentes, así como estudiar las propiedades del medio por donde pasan las ondas sísmicas y las propiedades locales donde se ubican las estaciones; usando los epicentros de los sismos muchas veces se pueden asociar a fallas tectónicas, cuyos trazos han sido mapeados en la superficie y de esta forma definir cuáles de éstas fallas están activas.

En este momento nuestro país cuenta con tres redes sísmicas: el OVSICORI de la Universidad Nacional, la Red Sismológica Nacional y el Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS) de la Universidad de Costa Rica. Esta última opera una red permanente de instrumentos de movimiento fuerte.

### **Instrumentación, medios de adquisición y procesamiento**

El OVSICORI-UNA opera una red sismográfica a nivel nacional y en tiempo real. Empezó su operación en 1984 y en un inicio los instrumentos de la red eran sismómetros verticales RANGER SS-1 de 1 seg. Estos instrumentos todavía operaban hasta la fecha y en este tiempo se tienen 20 instrumentos de este tipo distribuidos en todo el país (ver Figura 1). Esta es una red telemétrica que usa frecuencias de radio (VHF-UHF) a 217-220 MHz y de 430 a 440 MHz. El sistema consiste de sismómetros que producen una señal que es introducida a un preamplificador "VCO". La salida del VCO se transmite por medio de un sistema de radio al centro de registro. En el centro de registro se cuenta con una tarjeta digitalizadora que convierte la señal a forma digital y esta señal es introducida al paquete EARTHWORM, el cual es un paquete de programas computacionales para adquirir y administrar los datos sísmicos (ver <http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc>). Dentro de este paquete EARTHWORM los datos son salvados en forma de disparo y continua. Los sismogramas asociados en eventos se convierten a formato Seisan (Haskov y Ottemoller, 1999) para su posterior análisis.

**Figura 1. Mapa donde se muestran las estaciones sísmicas del OVSICORI-UNA. Con un círculo rojo se muestran las estaciones de periodo corto Ranger (SS-1), componente vertical y en celeste se muestran las estaciones de banda ancha. Las estaciones en azul con excepción de JTS y HDC3 cuentan con sismómetros, acelerómetros y GPS.**

A partir del 2006 se comenzó con la instalación y renovación de la red sísmica analógica, en este momento se cuenta con una red de banda ancha que consiste de 9 instrumentos de banda ancha amplia (40 hz a 120 o 240 sec), 2 estaciones de banda ancha (40 hz a 30 sec) y dos acelerómetros instalados independientemente. La red de banda ancha amplia consiste de un sismómetro para registrar movimientos débiles, de un acelerómetro, para registrar movimientos fuertes y una estación de GPS para medir desplazamientos y deformación. El instituto también administra dos estaciones; JTS y HDC3 que pertenecen a la corporación IDA/IRIS, ubicada en San Diego, California y a GEOSCOPE, de Física del Globo en Paris, Francia, respectivamente. Las estaciones digitales que opera nuestro instituto (ver Figura 1, círculos celestes), utilizan para la transmisión de datos desde el campo al centro de registro ubicado en la Universidad de Heredia, varias tecnologías de uso reciente en nuestro país como: comunicación satelital (VSAT), línea telefónica dedicada y el Internet, principalmente.

En el centro de registro se usa el paquete EARTHWORM (de libre acceso) y el paquete ANTELOPE para adquirir, administrar y procesar las señales sísmicas (ver Figura 2). Estos paquetes corren paralelamente y por el momento EARTHWORM funciona como un servicio de respaldo, en el caso de que ANTELOPE deje de funcionar. ANTELOPE es un paquete que consiste de módulos computacionales implementados para adquirir, transportar, respaldar, procesar, archivar y distribuir información sísmica, desarrollado por Boulder Real Time Technologies, Inc. ([www.brtd.com](http://www.brtd.com)).

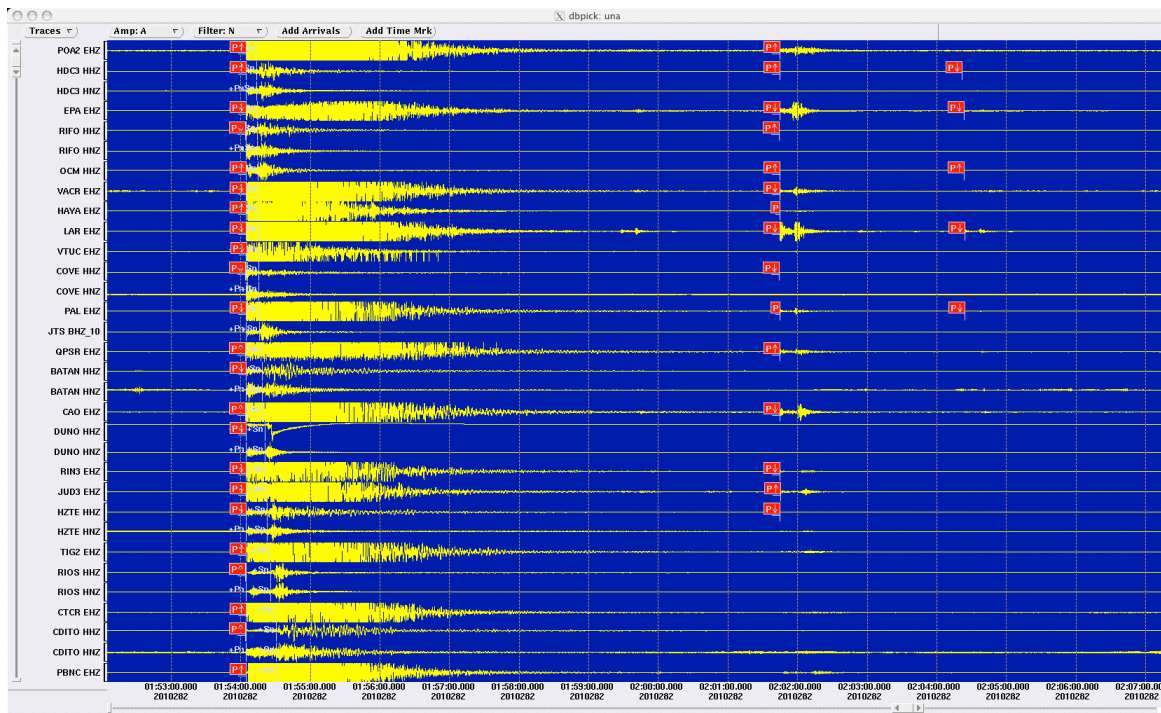
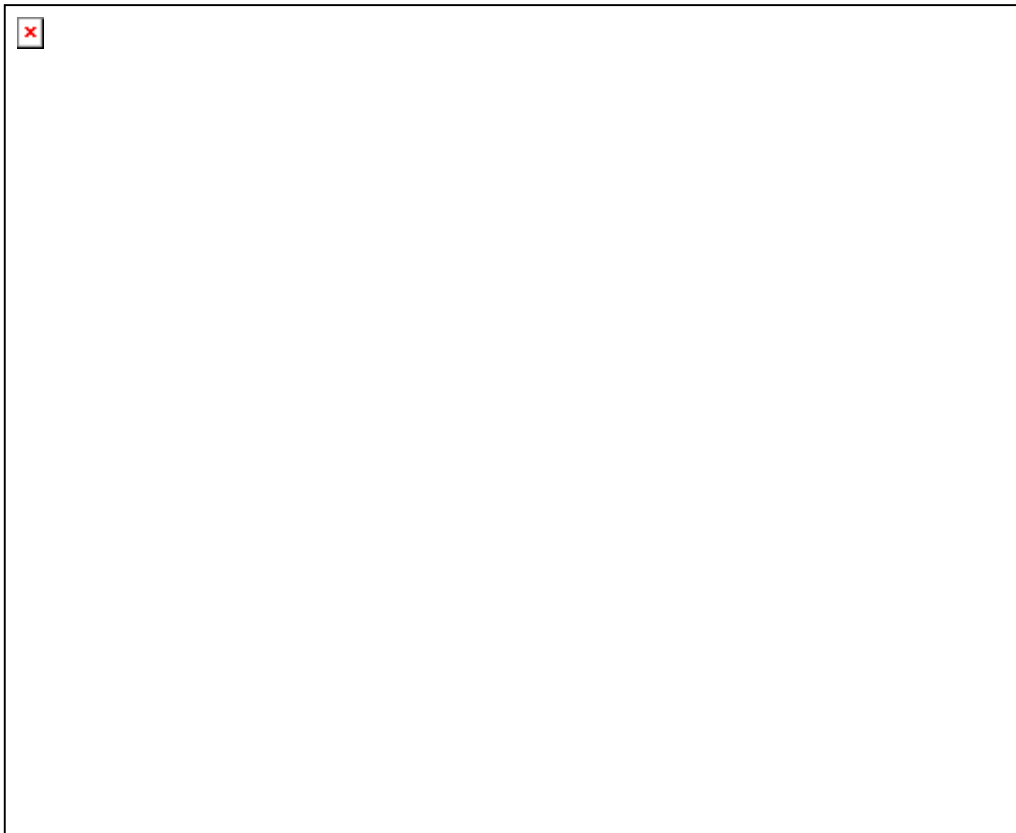


Figura 2. Ejemplo de registro en tiempo real de las estaciones sísmicas usando el paquete ANTELOPE. Se muestra parte del día juliano 282 del 2010. En amarillo se muestran las trazas registradas por las diversas estaciones sísmicas para componentes de verticales. En el grafico se nota el evento sísmico

del 8 de Octubre del 2010, a las 19:54 hora local y con una profundidad de 100 km, localizado a 9 km de zarcerro.

Nuestro centro de registro ha sido ampliado con una contribución del CTBTO/Viena con el fin de adquirir datos sísmicos de estaciones ubicadas en la región y en el globo, que serán de mucha utilidad para mejorar la precisión de los parámetros de localización proporcionados por el OVSICORI-UNA a la comunidad científica nacional e internacional.

En caso de actividades sísmicas extraordinarias (tectónicas, volcano-tectónicas y volcánicas), terremotos importantes y estudios específicos en algunas zonas de interés dentro del territorio nacional o países vecinos, se realizan instalaciones de redes sísmicas temporales y en algunas oportunidades nos vinculamos con instituciones nacionales y extranjeras, para brindar cooperación sobre estos temas. (ver Figura 3).



**Figura 3. OVSICORI-UNA y la Universidad de Northridge opera una red temporal de estaciones de movimiento fuerte, que incluyen A900/A800 de tres componentes. Las estaciones están indicadas por triángulos amarillos. MAT es la Fosa Mesoamérica, por sus siglas en inglés. Con triángulos rojos se muestran algunas estaciones permanentes del OVSICORI-UNA.**

En la siguiente tabla mostramos las estaciones permanentes que operamos a lo largo y ancho del país.

CDM	UNA	09.5537	-83.7637	3494	Trillium-240
PEZE	UNA	09.3826	-83.6775	807	Trillium-240
RIFO	UNA	10.3173	-83.9227	142	Trillum-240
DUNO	UNA	10.0791	-85.4937	188	Trillum-240
COVE	UNA	10.7195	-84.4019	124	Trillum-240
OCM	UNA	09.8941	-83.9623	1607	CMG6TD
RIOS	UNA	08.7005	-83.5144	102	STS2
BATAN	UNA	10.0978	-83.3761	54	STS2
CDITO	UNA	08.5733	-82.8727	118	STS2
HZTE	UNA	10.7137	-85.5954	194	STS2
HDC3	GE	10.0021	-84.1114	1175	STS2
JTS	II	10.2908	-84.9534	296	STS1, STS2
HAYA	UNA	09.9901	-83.8428	3245	Ranger-SS1
EPA	UNA	09.9863	-84.5950	803	Ranger-SS1
VTUC	UNA	10.0240	-83.7620	3191	Ranger-SS1
PICA	UNA	10.0193	-83.7837	2716	Ranger-SS1
TLA	UNA	10.0027	-83.7752	2720	Ranger-SS1
LORE	UNA	10.0432	-83.7269	2430	Ranger-SS1
VACR	UNA	10.4720	-84.6750	370	Ranger-SS1
JUD3	UNA	10.1659	-85.5388	665	Ranger-SS1
POA2	UNA	10.1757	-84.2485	2445	Ranger-SS1
POA5	UNA	10.2044	-84.2297	1230	Ranger-SS1
LAR	UNA	09.7085	-84.0123	2040	Ranger-SS1
RIN3	UNA	10.7883	-85.3652	1255	Ranger-SS1
TIG2	UNA	09.0284	-83.2969	680	Ranger-SS1
PBNC	UNA	08.3714	-83.1271	262	Ranger-SS1
CAO	UNA	09.6992	-85.1005	230	Ranger-SS1
PAL	UNA	09.7829	-83.8240	1481	Ranger-SS1
TERA	UNA	10.1706	-84.1980	2010	Ranger-SS1
QPSR	UNA	09.3919	-84.1239	52	Ranger-SS1
CTCR	UNA	08.8961	-82.7593	1620	Ranger-SS1
NICO	UNA	10.1345	-85.4470	1480	SMA-130
CANG	UNA	09.801	-84.362	294	CMG6TD

**Tabla 1. Lista de Estaciones Sísmicas del OVSICORI. UNA se refiere a Universidad Nacional, GE a GEOSCOPE, II a IDA/IRIS. Las estaciones COVE y OCM tienen equipos analógicos y digitales en el mismo sitio.**

### **Análisis de datos**

La localización y catalogación de sismos empieza con el registro de sismogramas de diferentes estaciones sísmicas distribuidas en la región de estudio. Los registros se revisan para detectar temblores locales y distinguirlos de arribos de eventos regionales, telesísmicos, volcánicos y ruido. Para los eventos identificados como sismos locales se leen los arribos de ondas P, S u ondas superficiales. Las lecturas de arribos de ondas detectados en varias estaciones deben agruparse para llevar a cabo una asociación de fases pertenecientes al mismo temblor. Una vez agrupadas se puede llevar a cabo una localización y determinación de magnitud del sismo local.

Los registros sísmicos continuos son asociados en eventos sísmicos dentro del sistema de adquisición de datos Earthworm v7.4 (2010) (desarrollado inicialmente por el United States Geological Survey, y mantenido actualmente por varias instituciones: <http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc>). Los sismogramas asociados en eventos se convierten a formato Seisan (Haskov y Ottemoller, 1999) para su posterior análisis.

Los sismogramas de todas las estaciones son leídos para cada evento sísmico. Dentro de la información leída están los tiempos de arribo de las ondas P (primaria longitudinal) y S (secundaria transversal) anotando también la impetuosidad, polaridad y grado de calidad de la lectura. Dependiendo de la distancia epicentral se anota si las primeras fases son Pn, Sn, P\*, S\* o simplemente P y S. Hasta 1992, la información sísmica fue procesada usando el programa HYPOINVERSE (Klein, 1978), a partir de esa fecha hasta Marzo del 2010 se procesó por medio del programa HYPOCENTER (Lienert y Haskov, 1995). A partir de Abril del 2010, se usa el paquete ANTELOPE para la adquisición y procesamiento de las señales sísmicas en paralelo con el EARTHWORM; las localizaciones iniciales realizadas con ANTELOPE se basan en el modelo de velocidad IASPEI91.

Una vez obtenida la primera ubicación se procede a identificar cualquier error residual de tiempo mayor que 0.5 segundos para las ondas P y S. De existir residuos mayores que éste valor, se procede a revisar las lecturas y efectuar las correspondientes correcciones.

Entre los resultados principales obtenidos del análisis por computadora para cada sismo están:

- a. Tiempos de origen
- b. Latitud y longitud epicentral
- c. Magnitud local
- d. Profundidad focal
- e. Residuos de tiempo
- f. Errores en los planos horizontal y vertical (ERH y ERZ)

y otra serie de parámetros estadísticos que facilitan la evaluación de la calidad de los resultados obtenidos.

Se reportan todos los sismos que han podido ser ubicados aún cuando los errores en la horizontal y la vertical sean mayores que 10 Km, siempre y cuando el RMS sea menor que 0.5 segundos después de una revisión exhaustiva del evento. Eventos con información insuficiente para ser localizados han sido

omitidos del listado general, pero sus tiempos de arribo anotados si su magnitud local es superior o igual a los 4 grados.

La magnitud de los eventos sísmicos es obtenida del promedio de las magnitudes parciales calculadas para cada estación según la duración de las trazas en las estaciones de período corto. Estas magnitudes parciales se calculan según la relación obtenida por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) para sismos en Alaska,

$$M_c = -1.16 + 2.01 \cdot \log_{10} T + 0.0035 \cdot \Delta + \Delta M$$

T: duración del sismo,

$\Delta$ : distancia epicentral,

$\Delta M$ : corrección para cada estación.

Se cuenta además con estaciones de banda ancha, con respuesta instrumental bien calibrada, que permite simular la respuesta de un instrumento WOOD-ANDERSON para el cálculo de la magnitud Richter. En este cálculo se utiliza la siguiente relación propuesta por Hutton y Boore (1987):

$$M_L = \log_{10}(A) + 1.11 \cdot \log_{10}(\Delta) + 0.00189 \cdot \Delta - 2.09$$

$\Delta$ : Distancia epicentral.

A: Amplitud pico-pico de la onda.

El modelo de corteza utilizado para la localización de eventos sísmicos en el trabajo rutinario ha variado en el tiempo. Al inicio se uso el modelo Modificado de Matumoto (Guendel, 1986) en el programa HYPOINVERSE y a partir de 1997 se uso el programa Hypocenter y el modelo de velocidad propuesto por Protti et al.; (1996), y después el de Quintero and Kissling (2001).

**Tabla 2. Modelo de velocidad usado en HYPOINVERSE hasta inicios del 2001 y modificado del de Matumoto et al. (1977).**

Profundidad de la interfaz	Velocidad de la onda P
(km)	(km/seg)



0.0	5.10
8.2	6.20
21.1	6.60
43.4	7.85
100	8.15

**Tabla 3. Modelo de velocidad usado en HYPOCENTER hasta inicios del 2001 y propuesto por Protti et al. (1996).**

Profundidad de la interfaz (km)	Velocidad de la onda P (km/seg)
0.0	5.10
8.2	6.20
18.0	6.60
36.0	7.73
52.0	7.81
77.0	7.90
99.0	8.05

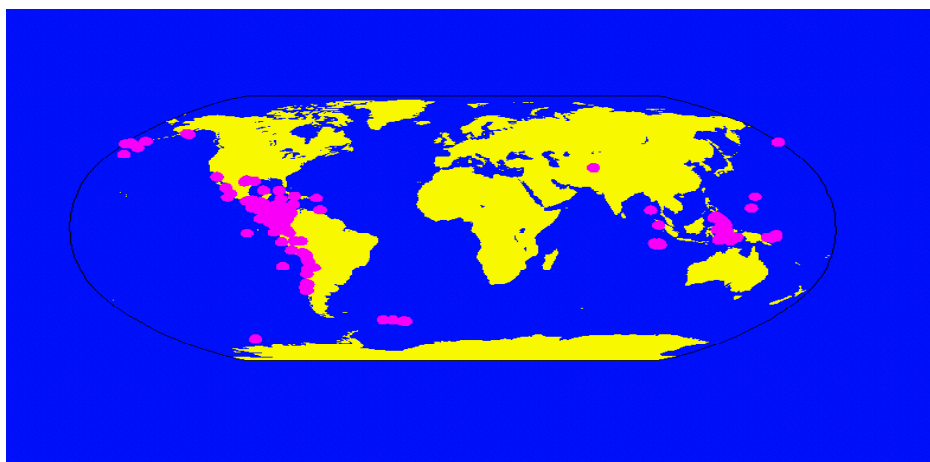
**Tabla 4. Modelo de velocidad usado en el programa HYPOINVERSE, después del 2001 y propuesto por Quintero and Kissling (2001).**

Profundidad de la interfaz (km)	Velocidad de la onda P (km/seg)
-4.0	4.33
0.0	5.78
4.0	5.97
10.0	6.42
17.0	6.54
24.0	6.90

30.0	7.05
40.0	7.17
50.0	7.67
70.0	7.83
100.0	8.42

El proceso de lectura de las señales sísmicas se lleva a cabo diariamente para mantener al día la lectura de sismogramas y los datos generados durante el año se evalúan estadísticamente para encontrar errores en las lecturas y determinación de hypocentros y magnitudes antes de compilarse en un catálogo que es publicado al inicio de cada año.

Anualmente la red del OVSICORI-UNA localiza más de 3,000 sismos en Costa Rica. La red sísmica del OVSICORI registra no solo los sismos ocurridos en el país, sino también aquellos sismos que registra nuestra red a nivel regional, con magnitudes mayores a 4 y telesismos (sismos que se registran y que provienen de largas distancias) con magnitudes mayores a 6 grados de magnitud (ver Figura 4). Las redes volcánicas también registran más de 3,000 eventos volcánicos anualmente. La magnitud mínima de los eventos sísmicos registrados por la red del OVSICORI-UNA es de 2.0 grados escala Richter y solo en casos de uso de redes temporales es que se puede bajar esta magnitud de registro y localización.



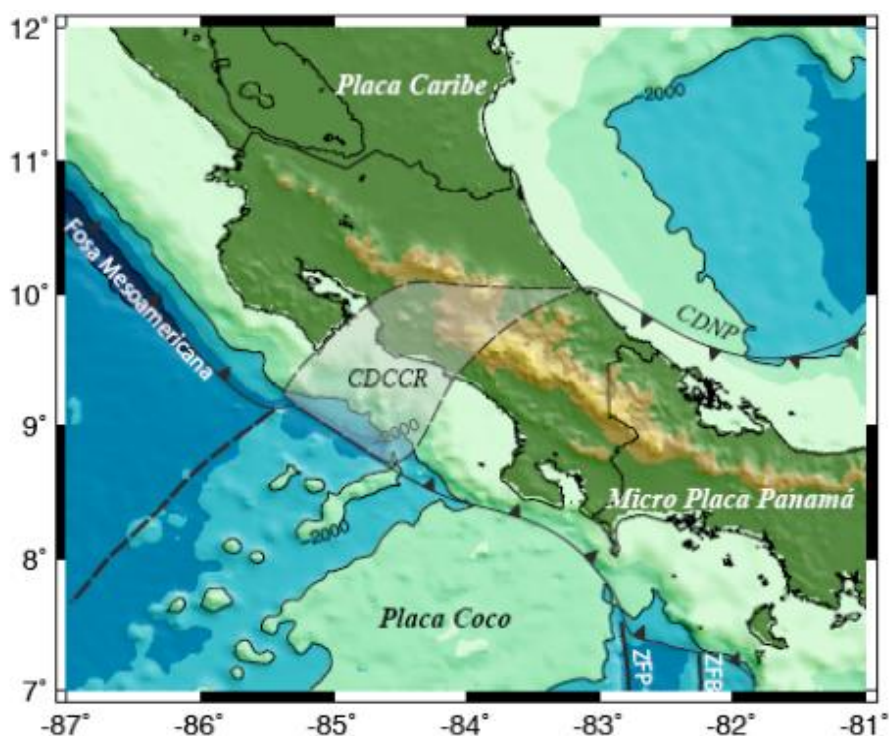
**Figura 4. Sismicidad local, regional y telesísmica, localizada por el OVSICORI-UNA desde Marzo a Octubre del 2010. Los epicentros están denotados por círculos rellenos en color fucsia. Por ser el OVSICORI-UNA una red sísmica local la mayoría de los sismos localizados se encuentran en Costa Rica.**

Con la continuidad, renovación, ampliación y mejoramiento de la red sismológica de la Universidad Nacional se pretende dar continuidad y mejorar la producción de catálogos anuales de eventos sísmicos

en Costa Rica, actividad que ha llevado a cabo el OVSICORI desde la fundación. Los datos obtenidos beneficiara principalmente: a) a toda la población de Costa Rica que requiera información y estadísticas de la actividad sísmica en el país y cómo ésta afecta su comunidad; b) a los gobiernos locales de Costa Rica, que requieran realizar algún estudio de peligro sísmico para incorporar en sus planes reguladores; c) a los científicos que requieran de información sísmica de Costa Rica para estudios específicos.

### **Tectónica regional y algunos sismos que han causado daños en Costa Rica**

Costa Rica está localizada en el sur de América Central y forma parte de la placa Caribe y de la Microplaca de Panamá o Bloque de Panamá, es una zona sismotectónica muy activa. Esta caracterizada por la interacción de las placas Cocos, Nazca, Caribe y Microplaca de Panamá. La placa del Coco está siendo sumergida con una dirección N25°-30°E bajo la placa Caribe y Bloque de Panamá. La velocidad relativa de convergencia es de 9.3 cm/yr en el sureste de Costa Rica hasta 8.3 cm/yr en el noroeste de Costa Rica (De Mets et al., 1990). Una cadena volcánica corre paralela a la Fosa Mesoamericana (FMA), desde Guatemala hasta el centro de Costa Rica, finalizando con el volcán Turrialba. La región central de Costa Rica se ubica en la zona límite entre la placa Caribe y la Microplaca de Panamá, la zona se conoce como el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica(ver Figure 5).



**Figura 5.** Mapa tectónico de Costa Rica y países vecinos. CDNP= Cinturón deformado del Norte de Panamá; PFZ= Zona de fractura de Panamá; ZFB= Zona de Fractura de Balboa; CDCCR= Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica. La frontera de corteza oceánica formada en la Dorsal del

**Pacífico (EPR) y el Centro de Expansión Coco-Nazca (CNS) se indica por líneas punteadas en las afueras de la Península de Nicoya.**

Nuestro país ha sufrido daños importantes en tiempos históricos y modernos como consecuencia directa de los terremotos. Daños ocurridos después de 1984 han sido documentados por la red sismográfica del OVSICORI-UNA. En la página web de este instituto ([www.ovsicori.una.ac.cr](http://www.ovsicori.una.ac.cr)), se puede consultar algunos de los sismos de mayor magnitud localizados en este país. Seguidamente se presentan algunos de los sismos que han causado mayores daños, la magnitud Mw se refiere a la magnitud de momento (Global CMT Catalog, 2010) :

1. **Terremoto de Golfito del 2 de Abril de 1983, Mw 7.4, hora local: 20:50, Lat 8.85, Long -83.25.** Localizado en el Golfo Dulce con una magnitud de 7.4. El sismo causó daños en Golfito, Zona Sur y Valle Central; reporte de 1 fallecido. Sismo asociado a la subducción de la placa del Coco con respecto al Bloque de Panamá.
2. **Terremoto de San Isidro del General del 03 de julio de 1983, hora local 11:14, Mw 6,3, Lat 9.65, Long -83.26.** Este evento sísmico, es considerado de intraplaca, presentó una profundidad somera (menos 10 km), su origen fue producto de rupturas a lo largo de fallas superficiales en la Cordillera de Talamanca, dentro de lo que hoy día se conoce como Bloque de Panamá. Este tipo de eventos sísmicos por lo general son muy dañinos y este en particular provocó muchos daños en San Isidro de Pérez Zeledón y en el Valle Central de nuestro país. El mecanismo focal indica un fallamiento normal en la cordillera de Talamanca.
3. **Terremoto de Cóbano del 25 de Marzo de 1990, hora local 07:23, Mw 7.3, Lat 9.648, Long -84.913.** Sismo de subducción, localizado en la entrada al Golfo de Nicoya, con una magnitud de momento de 7.3 y a una profundidad de 20 km. Causó daños en la Península de Nicoya, Puntarenas y Valle Central, 1 muerto. Sismo causado por la ruptura de una montaña submarina. Para esta fecha ocurrieron dos sismos reportados por el NEIC, el primero a las 7 horas 16 minutos el cual alcanzó una magnitud mb= 5.8, el segundo ocurre a las 7 horas 22 minutos, con una magnitud Ms= 7.0. El evento generó intensidades máximas VIII en la zona epicentral, en lugares como Cóbano y Puntarenas e intensidades de VI-VII en el Valle Central. También se documentó efectos de licuefacción en las zonas litorales próximas al epicentro.
4. **Enjambre sísmico en la zona de Puriscal, Mayo-Junio de 1990, ML 4.5/5.0.** Se presenta un enjambre sísmico en la zona de Puriscal con sismos de magnitud entre 4.5 y 5.0. El enjambre causó daños en Puriscal y deslizamientos en Fila de Picagres. El sismo ocurrido el 30 de junio a las 8 horas 51 minutos (hora local), ML =5.0; es el evento sísmico de mayor magnitud de este

enjambre sísmico. El epicentro se ubicó 8 km al oeste de Santiago de Puriscal y estuvo precedido por un repentino incremento en el número de sismos registrados y sentidos por los vecinos de la zona epicentral. Los barrios más afectados por el enjambre sísmico fueron: Los Angeles, Piedades, Carit, Jazaral, El Carmen, Calle Aserradero y el sector central de Santiago de Puriscal.

5. **Sismo de Puriscal del 22 de Diciembre de 1990, hora local 11:28, Mw 5.9, Lat 9.870, Long -84.336.** Este sismo causó daños en el Valle Central, especialmente en el sector oeste (Alajuela, La Guácima, Atenas, Ciudad Colón, Turrucare, Puriscal); reporte de 2 muertos. También las ciudades de Heredia y San José, sufrieron considerables daños en edificios y viviendas, principalmente viviendas de adobe y bahareque. El sismo fue superficial, localizado a 14 km de profundidad y el mecanismo focal indica una falla de corrimiento lateral izquierdo.
6. **Sismo de Limón del 22 de Abril de 1991, hora local 15:57, Mw 7.6, Lat 9.620, Long -83.149.** Daños en todo el litoral atlántico, desde Bocas del Toro. Panamá, hasta Batán y Turrialba, deslizamientos en la Cordillera de Talamanca, daños menores en el Valle Central y costa Pacífica. Se ubicó 40 km al sur de Puerto Limón a una profundidad de 17 km. Las intensidades máximas documentadas por el OVSICORI-UNA, establecen IX MM para la costa del Caribe de Costa Rica, donde los efectos de licuefacción en suelos arenosos donde el nivel freático es muy alto y comúnmente asociado a estos efectos, grietas, emanación de chorros de agua con arena. La mayoría de los daños se deben a este fenómeno que se observaron concretamente en estructuras (edificios) salidos de su fundación, carreteras fracturadas, puentes caídos o seriamente dañados, etc. Se produjeron grandes deslizamientos como consecuencia de la sacudida sísmica, en zonas de grandes pendientes, causando trastornos hidrológicos. El efecto de levantamiento costero es otro elemento para la asignación de esta intensidad máxima de IX grados en la escala de Mercalli Modificada. En el Valle Central los efectos del sismo no fueron graves aunque causó daños en viviendas, edificios, grietas, reventadura de ventanales, etc., se asigna una intensidad de VI MM, mientras que las intensidades decaen hacia el noroeste del epicentro en la zona de Guanacaste, donde según las encuestas aplicadas el promedio es de III MM. Produjo un total de 48 muertes en Costa Rica. El sismo activó otras fuentes sísmicas al interior del valle central de Costa Rica, como por ejemplo: Algunas fuentes sísmicas activadas después del terremoto del Valle de la Estrella, eran ya conocidas (San Isidro del General, sur de Cartago, Volcán Irazú, sur-oeste de Puriscal), pero también otras fuentes desconocidas, siendo la más importante de ellas la de Moravia de Chirripó. La documentación de la deformación de la costa asociada al terremoto indica un levantamiento máximo en Puerto Limón de 1.5 m. que disminuye rápidamente hacia el nor-oeste

y sur-este de la ciudad. El levantamiento es cero cerca de la frontera con Panamá al sur-este del río Sixaola.

7. **Sismo del sur de Quepos del 20 de Agosto de 1999, hora local 04:02, Mw 6.9, Lat 9.28, Long -84.10.** El sismo se localizó 33 km al sur de Quepos a una profundidad de 25 km, asociado a la subducción de la placa del Coco con respecto al Bloque de Panamá. Tuvo una intensidad máxima de V en la escala Mercalli modificada en Quepos.
8. **Sismo de Burica del 30 de Julio del 2002, hora local 18:16, Mw 6.5, Lat 7.655, Long -82.920.** Localizado 193 km al sureste de Golfito, un sismo tectónico asociado a la zona de fractura de Panamá. Reportado sentido en: Zona Sur, Valle Central, Zona Atlántica y leve en Zona Norte. Algunas casas de Madera y en mal estado colapsaron en Laurel de Corredores, Puntarenas, 6 personas heridas. Intensidad máxima de VI en Laurel y de VII en Puerto Armuelles, Panamá.
9. **Sismo de Puerto Armuelles del 25 de Diciembre del 2003, hora local 01:11, Mw 6.5, Lat 8.217, Long -82.814.** Localizado 7 km al Sur Oeste de Puerto Armuelles, Panamá con una magnitud Mw 6.5. Fue un sismo sismotectónico asociado a la fractura de Panamá. Se sintió con una intensidad de (VI) en la escala Modificada de Mercalli en Naranjo, Laurel y Ciudad Neilly y de (V) en Golfito. Este sismo causó colapsos de casas, liquefacción local y fracturas en calles, en la localidad de Naranjo, se observaba una ruptura que atravesó el pueblo y se extendió por varios km.
10. **Sismo de Damas del 20 de Noviembre del 2004, hora local 02:07, Mw 6.4, Lat 9.524, Long -84.222.** El sismo tuvo una magnitud Mw=6.4 y fue localizado en el Pacífico Central de Costa Rica, a 100 km de la Fosa Mesoamericana, a una profundidad de 25 km. Ocurrió en la parte más profunda de la corteza y con replicas distribuidas hacia la superficie. La falla delimitada por la secuencia sísmica es parte de un sistema de fallas que marcan el límite oeste entre la placa Caribe y el Bloque de Panamá. El evento fue sentido fuertemente en la zona epicentral, causando rupturas superficiales, licuefacción local y daños en casas en mal estado. El evento tuvo una intensidad en la escala Modificada de Mercalli de (VII) en Parrita y Damas, (V-VI) en Jacó y Quepos, (IV-V) en Puntarenas y el Valle central del país. La mayoría de los daños ocurrieron en Parrita y Damas. También hubo reportes de daños en la zona de los Santos, ubicada a 30 km NE de la zona epicentral.
11. **Sismo de Cinchona del 8 de Enero del 2009, hora local 13:21, Mw 6.1, Lat 10.20, Long -84.197.** El día 8 de enero de 2009 a la 13:21 hora local ocurrió un sismo en la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica, cuyo epicentro se ubicó al este del Volcán Poás, con una profundidad de 7 km. Este sismo esta asociado a fallamiento tectónico local en una falla de corrimiento de rumbo lateral derecho con orientación Noroeste-Sureste. En el caso del volcán Poás, el OVSICORI se ha

observado inestabilidad de paredes en la zona epicentral, producto de los sismos del 7 y 8 de enero. No se ha verificado aumento de actividad volcánica en el volcán Poás, con excepción del reporte de un aumento en el tamaño de las fumarolas del cráter principal, justo después del evento del día 7 de enero 2009, a las 10:00 am. Es natural, debido a la alta humedad que los suelos de la Cordillera volcánica mantienen, a las fuertes pendientes y a los suelos inestables que se produzcan deslizamientos en un radio importante a la zona epicentral. El sismo principal ha causado deslizamientos en la zona epicentral con caída de objetos, casas colapsadas sobre todo en terrenos quebrados o en laderas, un puente en construcción colapsado, vía de acceso cerradas por deslizamientos. Con el nivel de daños evaluado, se ha registrado una intensidad máxima de VIII en la zona epicentral (región de Varablanca - Cariblanco). El sismo que ocurrió el 7 de enero a las 10:00 am es un sismo premonitor del sismo principal del 8 de enero a la 13:21. Personal del Programa de Vigilancia Volcánica del OVSICORI-UNA se encontraba en la cima del volcán Poás durante la ocurrencia del sismo sentido el 7 de enero. Se notó que durante la ocurrencia de este sismo, la actividad fumarólica alrededor del cono piroclástico compuesto que se encuentra en el borde sur del lago ácido del Poás se tornó más vigorosa y otros visitantes reportaron haber visto una columna de vapor saliendo súbitamente desde un sector en la pared este del cráter que se ha venido derrumbando paulatinamente. La intensificación de la actividad fumarólica simultánea a la ocurrencia del sismo sentido el 7 de enero podría ser el resultado de una desestabilización del sistema hidrotermal que se encuentra debajo del piso del cráter activo del Poás generada por la actividad sísmica en cuestión. Los daños reportados en los medios de información, asociados a este terremoto, son considerables; 23 personas fallecidas, 7 desaparecidas, 4500 personas desplazadas de sus hogares, cerca de 400 casas destruidas, 23 centros educativos con daños considerables y daños en el edificio Municipal de la ciudad Alajuela. En total se calculan pérdidas por más de 100 millones de dólares en infraestructura carretera y otros. Se calculan que más de 500 km<sup>2</sup> de bosques fueron afectados por la cantidad de derrumbes generados por el movimiento fuerte. Los daños en la producción y pérdidas en turismo se calculan en más de 1800 millones de dólares. Basados en los daños reportados en la zona epicentral, el sismo alcanzó una intensidad máxima de VIII-IX grados en la escala de Mercalli Modificada.

## **Conclusión**

Los terremotos relacionados con fallamiento superficial, han sido los más destructivos en Costa Rica, como es el caso del último sismo de Cinchona del 08 de enero de 2009, el sismo de Puriscal en 1990, el sismo de San Isidro del General del 03 de julio de 1983 y el sismo de Tilarán de 1973.

El país en las últimas 3 décadas, ha enfrentado eventos sísmicos importantes a saber: terremoto de San Isidro del General 03 de julio de 1983, Cóbano 25 de marzo 1990, Puriscal 22 diciembre 1990, Limón 22 abril 1991 y el terremoto de Cinchona 08 de enero del 2009; además se ha presentado en diferentes sitios del país, una cantidad importante de enjambres y secuencias sísmicas; los cuales gracias a una red sismográfica como la que opera el OVSICORI-UNA, ha permitido ir en forma constante monitoreando, registrando y documentando ordenadamente cada uno de esos eventos, esto también ha permitido un avance significativo en el conocimiento de las condiciones sismo-tectónicas que existen en el país y que en el pasado se desconocían por falta de un buen monitoreo sísmico y banco de datos sísmicos.

En la actualidad el mundo vive un acelerado cambio tecnológico en muchas áreas del conocimiento; la vulcanología y sismología, no están ausentes de ese cambio; por lo tanto, el OVSICORI-UNA se ha avocado a un arduo trabajo, con el fin de instrumentar con equipo de alta tecnología la Red Sísmica de la Universidad Nacional. Los datos proporcionados por esta red, nos permitirán utilizar toda la onda sísmica para realizar estudios específicos y no sólo el arribo de la onda P y S.

## **Bibliografía**

1. Boulder Real Time Technologies, 2010. [www.brvt.com](http://www.brvt.com).
2. Earthworm Documentation, 2010. <http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc/>.
3. De Mets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F. & Stein, S., 1990. Current plate motions, *Geophys. J. Int.*, 101, 425-478.
4. Havskov, J., and L. Ottemöller, 1999. Seisan earthquake analysis software, *Seism. Res. Lett.* 70, 532-534.
5. Hutton, K. L., D. M. Boore, 1987. The ML scale in southern California. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 77, 2074-2094.
6. GÜENDEL, F. D., 1986. Seismotectonics of Costa Rica: An analytical view of the Southern Terminus of the MiddleAmerica Trench. Ph.D. Thesis, University of California, Santa Cruz.
7. Global CMT Catalog, 2010. <http://www.globalcmt.org/>. Ultimo acceso 1 de Noviembre del 2010.
8. Klein, F. W., 1984. User's guide to Hypoinverse, a program for Vax and Pc350 computers to solve for earthquake locations, U. S. Geological Survey, Open File Report 84-000.
9. Lienert, B. R., and J. Haskov, 1995. A computer program for locating earthquakes both locally and globally, *Seism. Res. Lett.* 66, 26-36.



10. MATUMOTO, T., M. OHTAKE, G. LATHAM and J. UMAÑA, 1977. Crustal structure in southern Central America. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 67, 121-134.
11. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Universidad Nacional, 2010. <http://www.ovsicori.una.ac.cr>.
12. Protti, M., S. Y. Schwartz, and G. Zandt, 1996. Simultaneous Inversion for Earthquake Location and Velocity Structure Beneath Central Costa Rica, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, 19-31.
13. Quintero, R., and E. Kissling, 2001. An improved P-wave velocity reference model for Costa Rica, *Geofís. Int.*, 40, 3 -19.